



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

## MIKROKOGENERACE MALÝCH VÝKONŮ

LOW-OUTPUT MICROCOGENERATION

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Leoš Kalina

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Lisý, Ph.D.

BRNO 2017



## Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav  
Student: **Leoš Kalina**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Martin Lisý, Ph.D.**  
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### Mikrokogenerace malých výkonů

#### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Společná výroba elektřiny a tepla mikrokogenerační jednotkou je v ČR stále poměrně neznámé téma. Nicméně stále více provozovatelů má zájem o nezávislé energetické zdroje bez závislosti na dodávkách ze sítě, zvláště při rostoucí hrozbě „black-outu“. Stejně je ve světě stále hodně oblastí bez stálých dodávek elektrické energie. Cílem práce je tedy provést rešerši možných technologií pro mikrokogeneraci využitelnou ve spojení s termickým zpracováním biomasy.

#### Cíle bakalářské práce:

Zpracovat rešerši dostupných mikrokogeneračních technologií pro malé výkony  
Zhodnotit jejich vhodnost pro jejich využití v domovních či blokových kotelnách  
Zpracovat základní studii proveditelnosti pro vybrané varianty mikrokogenerace malých výkonů s využitím zpracování biomasy

#### Seznam literatury:

PASTOREK, Zdeněk, Jaroslav KÁRA a Petr JEVIČ. Biomasa: obnovitelný zdroj energie. Praha: FCC Public, 2004. ISBN 80-86534-06-5.

KRBEK, Jaroslav, Jan FIEDLER a Bohumil POLESNÝ. Strojní zařízení tepelných centrál: návrh a výpočet. 1. vyd. Brno: PC-DIR, 1999, 217 s. ISBN 80-214-1334-4.

KRBEK, Jaroslav a Bohumil POLESNÝ. Kogenerační jednotky malého výkonu v komunálních a průmyslových tepelných zdrojích. Brno: PC-DIR, 1997, 100 s.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 27. 10. 2016



doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.  
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

**Abstrakt:**

Tato bakalářská práce se zabývá dostupnými mikrokogeneračními technologiemi pro využití v rodinném domě. Práce se skládá ze dvou částí. První část se zabývá rozdělením, popisem charakteristikou, výhodami a nevýhodami jednotlivých mikrokogeneračních jednotek. Druhá část se zabývá technicko- ekonomickým posouzením mikrokogenerační jednotky s využitím biomasy v rodinném domě.

**Klíčová slova:**

mikrokogenerace, Stirlingův motor, spalovací motor, parní stroj, palivový článěk, ORC cyklus, spalovací turbína, biomasa

**Abstract:**

This bachelor thesis focuses on obtainable microcogeneration technologies for detached houses and separated in two parts. The first part deals with a division of this technology, description of specific units and their advantages and disadvantages. The second part is an economical and technical assesment of a biomass microcogeneration unit for a detached house.

**Key words:**

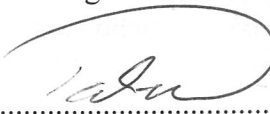
microcogeneration, Stirling engine, combustion engine, steam engine, fuel cell, ORC cycle, combustion turbine, biomass

**Bibliografická citace:**

KALINA, L. *Mikrokogenerace malých výkonů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 46 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Lisý, Ph.D.

**Čestné prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Mikrokogenerace malých výkonů“ vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury pod vedením Ing. Martina Lisého, Ph.D.



.....

V Brně dne 22.5.2017

Leoš Kalina

**Poděkování:**

Rád bych na tomto místě poděkoval Ing. Martinu Lisému ,Ph.D. za věcné připomínky a cenné rady při vypracování mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat všem, kteří mě podporovali během mého studia.

# Obsah

1 Úvod.....	11
2 Kogenerace.....	12
2.1 Trigenerace .....	12
2.2 Energetický přínos kogenerace .....	13
2.3 Produkce elektřiny a tepla v domácnostech .....	13
2.3.1 Energetická bilance.....	14
2.3.2 Výroba tepla.....	14
2.3.3 Výroba elektřiny .....	14
2.3.4 Kalkulace mikrokogenerace .....	14
2.4 Akumulace energie.....	15
2.4.1 Skladování tepelné energie .....	15
2.4.2 Skladování el. energie.....	15
3 Druhy mikrokogeneračních jednotek.....	16
3.1 Stirlingův motor .....	16
3.1.1 Parametry Stirlingova motoru.....	17
3.1.2 Životnost a spolehlivost.....	17
3.1.3 Servisní intervaly .....	18
3.1.4 Změna zatížení – dynamika motoru .....	18
3.1.5 Ekonomika provozu.....	18
3.1.6 Viessmann Vitotwin .....	18
3.1.7 Cleanenergy C9G.....	19
3.2 Spalovací turbíny.....	20
3.3 Palivové články .....	21
3.4 Parní stroj .....	23
3.5 Spalovací motory.....	24
3.6 Organický Rankinův cyklus .....	25
3.7 Porovnání jednotlivých druhů MKJ .....	26
3.8 Vhodnost použití kogeneračního zařízení. ....	27
4 Mikrokogenerace malých výkonů s využitím biomasy .....	27
4.1 Spalování biomasy .....	28
4.2 Návrh mikrokogenerační jednotky pro rodinný dům .....	29
4.2.1 Roční diagram pro přípravu TUV a potřeby tepla pro vytápění objektu.....	29
4.2.2 Výběr objektu .....	30
5 Ekonomika mikrokogenerace .....	32
6 Výpočet s využitím kogenerační jednotky Sunmachine CHP .....	33



6.1 Výroba elektrické energie .....	34
6.1.1 Náklady na výrobu elektrické a tepelné energie .....	34
6.1.2 Vyhodnocení profitability projektu .....	37
7 Závěr.....	38
8 Seznam použitých zdrojů .....	39
9 Seznam použitých symbolů a zkratk .....	41
10 Seznam obrázků a tabulek .....	44
11 Seznam příloh.....	45
Příloha A.....	46

## 1 Úvod

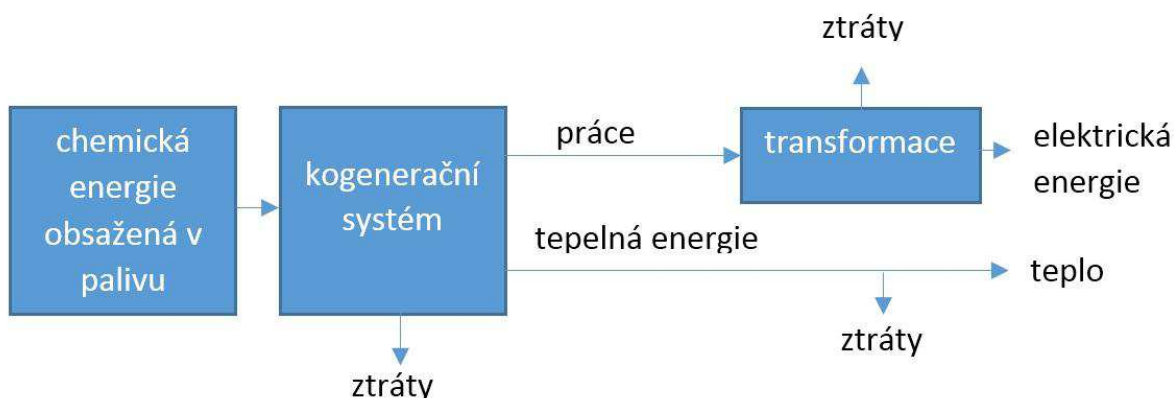
S narůstající velikostí populace na zemi se v současné době zvyšuje i poptávka po efektivním využití primárních energetických zdrojů. Každá domácnost je místem spotřeby velkého množství energií, ať již hovoříme o elektrických zařízeních, jako jsou například telefony, tablety, PC, notebooky, televize, rádia, mikrovlnné trouby, rychlovarné konvice a jiné spotřebiče. Toto vše jsou věci, které potřebujeme v každodenním životě, a většina lidí si bez nich nedokáže představit svou existenci. K těmto zařízením je ještě ale nutné přidat i energie potřebné pro vytápění a větrání domu, případně klimatizaci.

Velmi úzce se spotřebou energií souvisí plán amerického vizionáře Elona Muska. Jeho projekt revoluce v dopravě je založen na nahrazení vozidel s klasickými spalovacími motory za vozidla s elektropohonem. Toto řešení umožní snížení škodlivých emisí, ale zároveň se tímto opět zvyšuje poptávka po zdrojích energie. S ohledem na budoucnost je zapotřebí využívat obnovitelné zdroje energie společně s co nejvyšší efektivitou procesu. Z tohoto důvodu se nabízí sdružená výroba elektrické a tepelné energie.

Cílem této bakalářské práce bude zpracovat rešerši dostupných kogeneračních technologií a posouzení vhodnosti použití. V závěru práce bude vypracována základní studie proveditelnosti mikrokogenerace s využitím spalování biomasy v modelovém domě. Následně bude posouzena ekonomika této investice.

## 2 Kogenerace

Pojmem kogenerace (z anglického co-generation) označujeme kombinovanou výrobu elektřiny a tepla, při které dochází k postupné, nebo současné produkci konečných forem energie z primárního zdroje [1]. Nejčastější formou kombinované výroby je sdružená výroba elektrické a tepelné energie (KVET). Tento způsob výroby je v současné době velmi efektivním, spolehlivým a ekologicky šetrným způsobem získávání energií. V ČR se v současnosti narůstá poptávka po energeticky nezávislých budovách. Od centralizovaných systémů vhodných například pro města, až po mikro-kogeneraci v rodinných domech. Negativním parametrem je vyšší rozdíl mezi poptávkou a vyrobenou elektrickou energií. Domy ve kterých se vyskytují kogenerační jednotky pak většinou plní funkci malé elektrárny a dodávají do rozvodné sítě elektrický proud. Pro provoz kogeneračního zařízení je nutné dbát na efektivní řízení procesu výroby elektrické a tepelné energie. Při plánování kogeneračního zařízení je třeba posoudit i vhodný způsob skladování paliva. Při nesprávném uskladnění (především u biomasy) může dojít k degradaci paliva.



Obrázek 1 Schéma kogenerace

Rozdělení dle kogenerace maximálního dosažitelného výkonu [1]:

- Mikro-kogenerace – do výkonu 50 kWe.
- Mini-kogenerace – do výkonu 500 kWe.
- Kogenerace malých výkonů do 1 MWe.
- Kogenerace středních výkonů do 50 MWe.
- Kogenerace velkých výkonů nad 50 MWe.

### 2.1 Trigenerace

Pojmem trigenerace je označován speciální druh kogenerace, kde je zařízení vyrábějící elektrickou energii a teplo obohaceno ještě o absorpční zařízení vyrábějící chlad. Toto lze využít v letním období jako náhradu klimatizace [2].

## 2.2 Energetický přínos kogenerace

Hlavním důvodem sdružené výroby je snížení spotřeby primárních energetických zdrojů (PEZ) a snížení množství produkovaných škodlivých zplodin vznikajících při oddělené výrobě [3].

Pro výrobu elektřiny při oddělené výrobě vypočteme množství potřebné energie v palivu dle vztahu:

$$Q_{el} = \frac{E_{tep}}{\eta_{el}\eta_{re}} \quad (5.1)$$

kde:

$Q_{el}$  - množství potřebné energie v palivu [GJ],

$E_{tep}$  - množství elektrické energie [GJ],

$\eta_{el}$  - účinnost kondenzační elektrárny [-],

$\eta_{re}$  - účinnost rozvodu elektřiny [-].

Množství tepla spotřebované ve výtopně vypočteme dle vztahu:

$$Q_{výt} = \frac{Q_s}{\eta_{výt}} \quad (5.2)$$

kde:

$Q_{výt}$  - množství tepla spotřebované ve výtopně [GJ],

$Q_s$  - množství tepla dodané spotřebiteli [GJ],

$\eta_{výt}$  - účinnost výtopny [-].

Vztah popisující snížení spotřeby tepla při KVET vypočteme:

$$Q_{tep} = \frac{Q_s + E_{tep}}{\eta_{tep}} \quad (5.3)$$

kde:

$Q_{tep}$  - množství tepla spotřebované ve výtopně [GJ],

$\eta_{tep}$  - účinnost teplárny [-].

Úsporu tepla z paliva pak vyjádříme dle vztahu:

$$Q_u = Q_{výt} + Q_{el} - Q_{tep} = Q_s \left( \frac{1}{\eta_{výt}} - \frac{1}{\eta_{tep}} \right) + E_{tep} \left( \frac{1}{\eta_{el}\eta_{re}} - \frac{1}{\eta_{tep}} \right) \quad (5.4)$$

Veličina  $e$ , popisující poměr velikosti vyrobené elektrické a tepelné energie se nazývá modul teplárenské výroby a je velmi důležitým parametrem kogenerace při hodnocení efektivnosti energetického celku KVET.

$$e = \frac{E_{tep}}{Q_s} \quad (5.5)$$

## 2.3 Produkce elektřiny a tepla v domácnostech

V současnosti lze téměř každou domácnost označit jako spotřebitele tepla a elektřiny. Elektřina je většinou dodávána do elektrické rozvodné sítě a teplo na vytápění získáváme v kotlích a TUV z elektrických boilerů, průtočných kotlů, případně zařízení k tomu určených [4].

### 2.3.1 Energetická bilance

Základním údaj pro stanovení energetické soběstačnosti (náročnosti) budov se nazývá energetická bilance. Tato bilance je určena součtem ztrát. Ztráty, se kterými se setkáváme v rodinných domech, jsou: ztráty prostupem střechou, ztráty prostupem podlahou, ztráty prostupem stěnami, ztráty okny, ztráty při ohřevu teplé vody a ztráty větráním. Tyto ztráty je potřeba vykryt zdrojem energie. Pro následné výpočty kogenerace je třeba zvolit si modelový dům, na kterém budeme posuzovat náklady na provoz, úsporu a výdělek.

### 2.3.2 Výroba tepla

Výroba tepla v domácnostech je velmi rozšířeným způsobem získávání tepla. Místní zařízení na přeměnu energie paliva na tepelnou energii nejsou technologicky náročné na konstrukci a dochází ke snížení tepelných ztrát oproti dodávce tepla ze vzdálených tepelných centrál. Jako zdroj energie pro výrobu tepla se v ČR nejčastěji používá zemní plyn, poté jiné druhy fosilních paliv jako je například uhlí. Hlavní výhodou uhlí je dobrá manipulace a skladovatelnost, naopak nevýhodou jsou vysoké emise při spalování a nespálené zbytky mohou obsahovat mnoho nebezpečných látek. Dalším důležitým palivem je biomasa, především dřevo, pelety a dřevní štěpka [4].

S rostoucím komfortem obyvatel se v současné době rozvíjí trend tzv. poloautomatických kotlů. Tyto kotle jsou navrženy tak, aby plnily emisní normy EURO a ECODSIGN a byly tak šetrné na okolní prostředí. V případě kotlů s manuálním přikládáním je možné využít soustavu s akumulací nádobami. V případě, že již vyhoří palivo v kotli, je ještě možné po určitou dobu čerpat teplo potřebné pro vytápění z akumulací nádob. K nejvýznamnějším výrobcům kotlů na tuhá paliva patří firmy: Dakon, Viadrus, Atmos. Dalším možným způsobem je vytápění domu elektrickou energií (elektrické přímotopy), toto řešení je ale nejdražší z výše uvedených zdrojů vytápění. V případě nízké spotřeby tepla (pasivní domy) mohou být elektrické přímotopy vhodným řešením, protože investice do jiných zdrojů tepla zde vykazují dlouhou dobu návratnosti.

### 2.3.3 Výroba elektřiny

V současnosti se nabízí několik možných způsobů výroby elektrické energie v domácnostech. Možným řešením jsou fotovoltaické systémy. Nevýhodou fotovoltaického systému je omezená doba provozu v závislosti na sluneční energii. Z tohoto důvodu nyní není možné mít „elektricky soběstačný“ dům, tzn., že v případě přebytku elektrické energie dodáváme do sítě a naše zařízení je tak zdrojem pro přenosovou soustavu, a v případě, že máme nedostatek, odebíráme ze sítě a fungujeme tak jako spotřebitelé el. energie. Řešením tohoto problému je využití vhodného způsobu skladování, uložení přebytku v čase nadvýroby a následně jeho využití v případě nedostatku.

### 2.3.4 Kalkulace mikrokogenerace

Při návrhu použití mikrokogenerační jednotky, je nutné zvážit náklady na realizaci tohoto projektu a především také návratnost investice, s čímž velmi úzce souvisí úspora nákladů na energii. Celkově je možné investice s návratností do 12 let charakterizovat jako výhodné. Investice s návratností vyšší již z ekonomického hlediska tak výhodné nejsou. Většina součástí dosahuje hranice životnosti a poté je nutné provádět rozsáhlé rekonstrukce zařízení. Pro hospodárny provoz zařízení s KVET je velmi důležitým parametrem doba chodu KGJ. V současnosti je možné většinu zařízení plnohodnotně využívat pouze v zimním období, protože po zbytek roku není možné efektivně odebírat vyrobené teplo. V případě kogenerace vyšších výkonů se nabízí více možností využití odpadního tepla. Například sušárny na dřevo, lakovny, vyhřívání skleníků aj.

## 2.4 Akumulace energie

Vzhledem k tomu, že je celkem obtížné v domácnosti rozložit spotřeby energií, efektivním řešením by bylo skladování energie. Například kogenerační jednotka by byla v provozu v odpoledních hodinách a přebytek vyrobené energie by se nedodával do el. rozvodné sítě ale ukládal by se v lokálním úložišti za účelem vykrytí okamžité potřeby. Řešením by bylo například využití vyrobeného přebytku pro přípravu ranní kávy a jiných činností bez nutnosti provozu MKJ. Existují funkční objekty, u kterých se tento případ řeší, tyto objekty se nazývají ostrovní domy (někdy i objekty v ostrovním režimu). V současné době toto v ČR příliš nepodporuje ani legislativa. Ideální akumulátory vykazují malý objem, nízkou cenu a malé ztráty energie.

### 2.4.1 Skladování tepelné energie

Pro akumulaci tepelné energie lze využít jakýkoliv cyklický nebo vratný proces, při kterém dojde k nárůstu vnitřní energie systému. Možným způsobem skladováním tepelné energie je akumulace tepla v akumulacím zásobníku. Toto řešení umožňuje měnit výkon dle požadavku zákazníka a je vhodné i pro akumulaci TUV.

### 2.4.2 Skladování el. energie

Na trhu je mnoho druhů akumulátorů v různém napěťovém rozsahu, v několika různých variantách způsobu provedení. V současnosti je nejvyužívanějším způsobem pro skladování pomocí baterií Li-ion. Dalším možným způsobem uchování el. energie je pomocí setrvačníků. Takto akumulovaná energie je závislá na množství, formě setrvačnosti a otáčkách rotoru. Elektrická energie se přenese na rotační pohyb rotoru a v případě potřeby se elektromotor začne chovat jako alternátor a energii je možno čerpat zpět (přeměna zahrnuje ztráty). Tento způsob skladování je vhodný v případě krátkodobého skladování a vysokého výkonu. Z předchozí úvahy vyplývá, že pro nejefektivnější využití vyrobené energie je zapotřebí co nejvíce synchronizovat výrobu energie s její spotřebou.

Nejrozšířenějším zařízením pro řízení energií je zařízení společnosti TESLA s obchodním označením Powerwall. V současné době je již k dispozici třetí generace tohoto zařízení, umožňující například řízení výroby v závislosti na změně počasí pomocí dat dostupných na internetu. Další možností je synchronizace domu s vozidlem, dálkové řízení domu a jiné. Nevýhodou tohoto zařízení je, že ještě nebylo certifikováno pro použití v Evropě.



Obrázek 2 Tesla Powerwal [5]

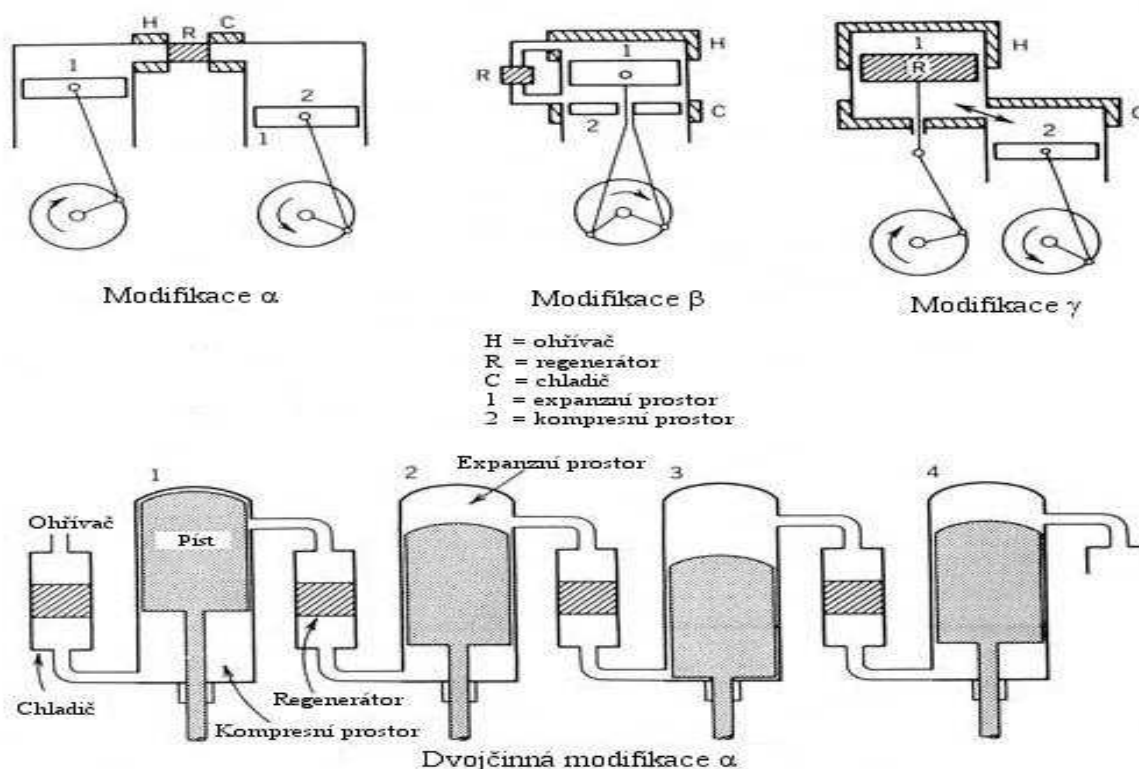
## 3 Druhy mikrokogeneračních jednotek

### 3.1 Stirlingův motor

Jedná se o tepelný pístový motor s vnějším spalováním, který byl vynalezen v roce 1816 skotským pastorem Robertem Stirlingem. V této době se vyskytovalo mnoho nehod spojených s výbuchem parního kotle. Z tohoto důvodu se Stirlingův motor, který nepotřeboval kotel, pracující za podstatně nižších teplot a vykazující navíc poměrně tichý chod jevil jako poměrně vhodná alternativa. Rozsáhlé srovnání provedl ve druhé polovině 19. století vědec John Ericsson. Jeho experiment porovnával Stirlingův motor s teplovzdušným motorem s ventily (zvaný též jako Ericssonův). Postupem času došel k závěru, že Stirlingův motor je jednodušší a zároveň spolehlivější. Proto již svůj vlastní motor dále nerozvíjel. V 19. století nacházel Stirlingův motor uplatnění většinou jako náhrada parního stroje malého výkonu (obvykle do 6 kW). K postupnému vytlačení Stirlingova motoru došlo po vynálezu spalovacího motoru. Na vývoji spalovacích motorů mají hlavní podíl Rudolf Diesel a Nikolas Otto. O uplatnění Stirlingova motoru se začalo znovu uvažovat během ropné krize v 70. letech 20. století. Firma Ford realizovala myšlenku implementace motoru Stirling do osobního automobilu. Během testů se ale bohužel ukázalo, že díky nedostatečné regulaci výkonu a akceleraci není tento motor vhodný pro pohon automobilů. Vzhledem ke zvyšující se poptávce po ropě a zvyšujícím cenám paliv v současné době nachází Stirlingův motor uplatnění v kogeneraci [6].

Z hlediska uspořádání pístů se Stirlingův motor dělí:

- a) typ alfa – dva osově souměrné válce,
- b) typ beta – dva písty v jednom válci,
- c) typ gamma – dva osově nesouměrné válce.



Obrázek 3 Modifikace Stirlingova motoru [7]

### 3.1.1 Parametry Stirlingova motoru

Pro jednotky malého výkonu se modul teplárenské výroby pohybuje v rozmezí 0,12-0,17. Parametry odebíraného tepla závisejí na typu použitého paliva a zařízení, ve kterém dochází k přeměně paliva. Nejčastěji se toto teplo používá pro ohřev užitkové vody a na vytápění. U KJ se Stirlingovým motorem jsou k dispozici tři způsoby odběru tepla [1]:

- a) Přímo z tepelného zdroje.
- b) Využití tepla chladicího média motoru.
- c) Teplo odcházející z ohřívače.

Tepelná účinnost Stirlingova motoru závisí především na kompresním poměru  $\xi$ , na poměru teplot v kompresním a expanzním poměru  $\varphi$  a na použité pracovní látce tepelného oběhu. Tepelnou účinnost je možné určit dle vztahu:

$$\eta_{t}^{StM} = \frac{\ln \varepsilon(\varphi-1)}{\frac{1}{\chi-1}(\varphi-1) + \varphi \ln \varepsilon} \quad (3.1)$$

kde:

- $\varphi = T_3/T_2$  - poměr teplot v kompresním a expanzním prostoru [-],  
 $\varepsilon = V_1/V_2$  - kompresní poměr [-],  
 $\chi$  - Poissonova konstanta [-].

Tepelná energie potřebná pro provoz Stirlingova motoru se ve většině případů získává oxidací paliv. Obecně můžeme použít jakékoliv palivo, ale z hlediska ekonomického a hospodárného používáme paliva méně kvalitní, především biomasu. Jsou ale i zařízení, ve kterých jsou tato paliva nepřipustná za účelem využití. Kvalitnějším palivem docílíme rychlejšího studeného startu a náběhu na jmenovité parametry výkonu. Druhou možností, jak získat potřebné teplo je jeho dodávka z jiných tepelných zdrojů. Typickým příkladem může být zbytkové a odpadní teplo z technologických procesů, nebo z jiného transformačního řetězce [1].

Zdrojem tepla může být:

- a) Stávající zařízení produkující teplo (pece).
- b) Nově instalované zařízení spalující biomasu, pevné odpady, rostlinný olej.
- c) Teplo odváděné z primárních jednotek jiného druhu – palivové články, pístové motory, turbíny.
- d) Tepelná energie slunečního záření.

Množství emisí vyprodukovaných při provozu Stirlingova motoru lze přirovnat k emisím parních turbín. Motor vykazuje velmi nízkou hladinu hluku, proto není problém ho bez větších protihlukových opatření umístit do místa spotřeby. [1]

### 3.1.2 Životnost a spolehlivost

Vzhledem k tomu, že u KJ se Stirlingovým motorem dochází k plynulému spalování a KJ pracuje za nižších teplot oproti klasickým spalovacím motorům, prodlužuje se doba mezi nutnými opravami až na pětinasobek. U jednotek vyšších výkonů je předpokládána doba životnosti minimálně 20 let.



### 3.1.3 Servisní intervaly

Doba provozu mezi jednotlivými servisními intervaly se pohybuje v rozmezí od 5000 do 7000 mth. Přibližně po 25000 mth je nutná rozsáhlejší oprava. Častější údržbu si vyžaduje spalovací zařízení, kde zejména v případě spalování biomasy dochází i k zanášení přestupních ploch.

### 3.1.4 Změna zatížení – dynamika motoru

Regulace zatížení Stirlingova motoru je pomalejší. Hlavním důvodem je přestup tepla z vnějšího zdroje výměníkem až do motoru. Čas potřebný pro náběh zařízení na provozní hodnoty je závislý na typu paliva. Při spalování odpadní biomasy je nutné nejdříve uvést jednotku do tzv. teplého stavu, což způsobuje relativně dlouhou časovou prodlevu. Z tohoto důvodu se nedoporučuje tyto KJ používat jako záložní zdroje. Za ideální záložní zdroj považujeme takový, který má tuto prodlevu co nejmenší, a v případě neočekávaného „blackoutu“ bude schopen udržet energetickou soustavu v provozu.

### 3.1.5 Ekonomika provozu

Náklady na jednotku instalovaného elektrického výkonu jsou vysoké. Pro kogenerační jednotky malého výkonu se může dosáhnout ceny až 700 € (18690 Kč) /  $W_e$  (při kurzu 26,70 Kč/€). U jednotek, která spalují odpadová paliva, je pak cena nižší. Významným faktorem vstupujícím do ekonomiky provozu je dotační program zelený bonus, který například při použití biomasy jako primárního paliva významně snižuje cenu vyrobené kW [1].

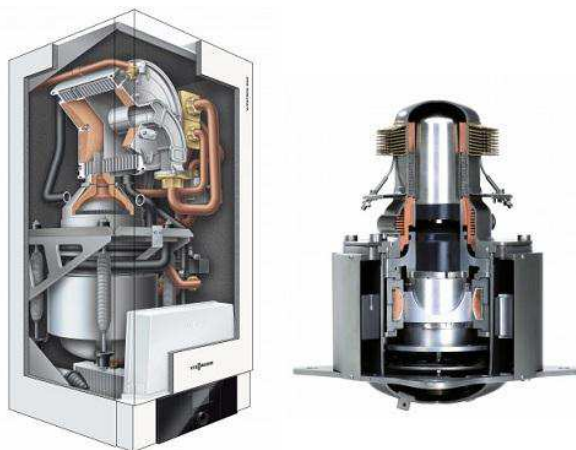
### 3.1.6 Viessmann Vitotwin

Společnost Viessmann představila v roce 2012 mikrokogenerační jednotky se Stirlingovým motorem nesoucí označení Vitotwin. Nejprodávanějším modelem je model Vitotwin 300-W. Pro vytápění obytných prostor a přípravu teplé vody vystačí odpadní teplo z motoru. Ve velmi chladných zimních dnech a pro rychlou přípravu teplé vody jsou tyto MKJ vybaveny integrovaným špičkovacím plynovým kotlem Vitodens 200-W.

Tabulka 1 Parametry Viessmann Vitotwin

Druh paliva	Rozměry (DxŠxV)	Hmotnost	Výstupní výkon	Emise hluku ve vzdálenosti 1 m
Zemní plyn, zkapalněný plyn	482x480x900m m	125 kg	0,6 -1 kWe 3,6 -26kWt	53 dB(A)

Tyto jednotky nejsou určeny pro malé nízkoenergetické domy, protože by zde nebyl zcela využit jejich potenciál. Nasazení těchto jednotek je smysluplné při větší spotřebě tepla, například menší bytové domy, kde je možnost elektrickou energii využít například pro osvětlení schodiště. Dále je vhodné použití při rekonstrukci budov, které není možné významně zateplit (složitá fasády, historické budovy, ...) a taktéž budovy, u kterých nemáme v úmyslu rekonstruovat otopnou soustavu na nižší teplotní spád. Jako hlavní výhodu jednotek Vitotwin lze považovat jejich kompaktnost. Jednotka je jednofázový spotřebič, bez zvláštních požadavků na síť. V případě že není požadavek na výrobu elektrické energie, je možné provozovat pouze plynový kotel. Náklady na montáž jsou stejně vysoké jako náklady na montáž standardního závěsného kotle. Servis a spouštění jednotky provádějí pracovníci Viessmann. Generátor je díky obsaženému heliu neopravitelný [8].



Obrázek 4 Viessmann Vitotwin [8]

### 3.1.7 Cleanenergy C9G

Hlavní produktem společnosti Cleanenergy je kogenerační jednotka s obchodním označením C9G. Jedná se o plně samostatnou jednotku, která pro vlastní provoz nepotřebuje připojení k napájecí síti. Po připojení jednotky ke zdroji paliva je nutné na zařízení provádět pouze pravidelné kontroly a servisní zásahy, jinak je plně bezobslužné [9].

Tabulka 2 Parametry Cleanenergy C9G

Druh paliva	Rozměry (DxŠxV)	Hmotnost	Výstupní výkon	Emise hluku ve vzdálenosti 1 m
Bioplyn, Zemní plyn, LPG, LNG, CNG	1280x700x980	460 kg	2-9 kWe 8-25 kWt	<67 dB(A)

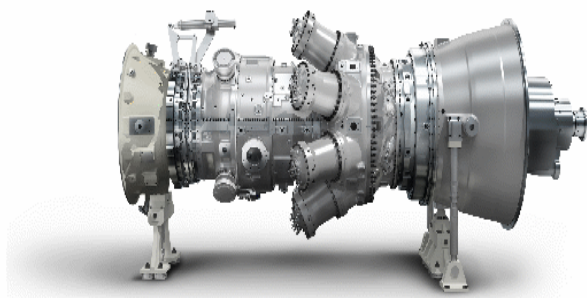


Obrázek 5 Cleanenergy C9G [10]

### 3.2 Spalovací turbíny

Plynové spalovací turbíny pracují dle Braytonova cyklu. Za pracovní látku tepelného oběhu považujeme vzduch, který se nejdříve stlačuje kompresorem, poté se mu dodá energie při spalování paliva ve spalovací komoře a následně pak dochází v turbíně k tlakové expanzi. Spalovací komora je umístěna před tepelným motorem a není tak možné odvádět teplo by-passem. Vzhledem k vysokým vstupním a výstupním teplotám jsou u plynové turbíny vyšší požadavky na materiál součástí. Modul teplárenské výroby téměř dosahuje hodnoty 1. Pro plynové turbíny můžeme používat jak plynná, tak i kapalná paliva. Vstupní spaliny musí být čisté, pokud by se zde nacházely nečistoty, mohlo by dojít k erozi lopatek a následnému poškození celého zařízení. Plynové turbíny patří mezi nejekologičtější zařízení spalující fosilní paliva. Moderní turbíny se prokazují vysokou spolehlivostí s pravidelnými opravami po cca 4000 mth. Ke generálním opravám dochází přibližně po 25000-40000 mth. Životnost celého zařízení je možné prodloužit pravidelnou výměnou lopatek. Jednotkový elektrický výkon se u plynových turbín pohybuje v rozmezí od 250 kW do 500 MW. Toto je jedním z důvodů, proč bych spalovací turbínu pro mikrokogeneraci v rodinném domě nedoporučoval.

Speciálním případem spalovací turbíny malého výkonu jsou tzv. mikroturbíny (MT). Tato zařízení pracují při vysokých otáčkách (kolem 100000 ot/ min) Elektrické výkony používaných zařízení se pohybují v rozmezí od 30 do 350 kW [1].



Obrázek 6 Spalovací turbína [19]



Obrázek 7 Spalovací mikroturbína [11]

### 3.3 Palivové články

MKJ s palivovými články se výrazně odlišuje od ostatních způsobů kogenerace. Zásadním rozdílem je, že zde nedochází k hoření, ale k chemické reakci. V komerční sféře, není možné jako palivo využívat pouze vodík a kyslík, ale je potřeba zemního plynu jako paliva (zdroje vodíku) a vzduchu jako okysličovadla. Vodík se ze zemního plynu získává rozkladem metanu na oxid uhličitý a vodík (tzv. reformingem). Mimo již zmíněný zemní plyn je možné využít i jiné typy paliv:

- 1) LPG
- 2) bioplyn
- 3) plynné průmyslové odpady (rafinerie)
- 4) etanol

U tuhých paliv je potřeba provádět zplynování. Do palivového článku se palivo dodává v plynném skupenství. [1]

Dle využití elektrolytu dělíme palivové články na:

- 1) Alkalické (elektrolyt je zředěný hydroxid draselný).
- 2) S tuhými polymery (elektrolyt je tuhý organický polymer).
- 3) S kyselinou fosforečnou (elektrolyt je kyselina fosforečná).
- 4) S roztavenými uhlčitany (elektrolytem jsou roztavené uhlčitany).
- 5) S tuhými oxidy (elektrolyt tvořen z oxidů vybraných kovů).

Výkony MKJ s palivovými články se pohybují v rozmezí od 5kW do 2MW v závislosti na typu článku. Odběr tepla realizujeme ve formě teplé vody, případně páry o nízkých parametrech. U MKJ s palivovým článkem je principiálně možný odběr tepla ze 4 míst:

- 1) anoda
- 2) katoda
- 3) reformátor paliva
- 4) chlazení článku

Na katodu v palivovém článku je přiváděn kyslík ( $O_2$ ), který se následně redukuje na kyslíkový anion  $O^{2-}$ . Atom kyslíku poté postupuje elektrolytem k anodě, kde se následně sloučí s vodíkem nebo CO a uvolní se z něho v tomto okamžiku dva elektrony. Anoda a katoda jsou vzájemně propojeny el. vodičem. Z toho vyplývá následný postup těchto elektronů směrem k anodě, kde jsou opět přijaty kyslíkem a dochází ke vzniku elektrického proudu [12].

Probíhající chemické reakce:

Reakce na anodě:



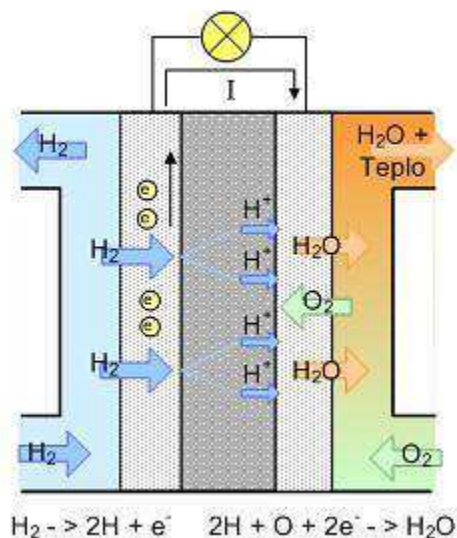
Reakce na katodě:



Celková reakce:



MKJ s palivovými články produkují podstatně méně emisí než ostatní druhy MKJ. Palivové články téměř neobsahují rotující částí, ale i přesto jejich hlučnost dosahuje hodnoty hlučnosti 60 dB, a proto se doporučuje jejich umístění pouze mimo objekt. Z hlediska servisních intervalů je nutné po 2000-4000 mth provádět výměnu zapalovacích svíček reformátoru, náplně úpravny vody, absorbérů síry a těsnění přírub. Po 3-5 letech se provádí výměna katalyzátoru. Samotný blok palivového článku měníme po 4-8 letech provozu. Ve zkušebních podmínkách byla dosažena hodnota palivových článků 75000 hodin při vysoké spolehlivosti.



Obrázek 8 Schéma palivového článku [22]

### 3.4 Parní stroj

Moderní konstrukci pístového parního motoru (parního stroje) navrhl anglický vynálezce James Watt. Parní stroj (pístový parní motor) patří mezi nejvýznamnější vynálezy 18. století a současně je možné vynález parního stroje označit jako počátek strojírenského průmyslu. Tento vynález patří do skupiny tepelných strojů s vnějším převodem tepla (teplo je přiváděno do oběhu v parním kotli, případně v parogenerátoru a odváděno v kondenzátoru). Tato vlastnost nám umožňuje využití téměř jakéhokoli zdroje tepla. Parní stroj se používá pro redukci tlaku páry v redukčních stanicích, ale je možné s ním počítat i pro využití v oblasti mikrokogenerace [13]. V minulosti se v ČR zabývaly vývojem parních kogeneračních jednotek dvě společnosti. Společnost Tenza, a.s. pracovala na vývoji KJ s využitelným elektrickým výkonem v rozmezí od 10 kW do 100 kW. Druhou společností pracující na vývoji parních kogeneračních jednotek byla společnost Polycomp, a.s. Tyto KJ dosahovaly elektrického výkonu od 100 kW do 300 kW. V současné době byl vývoj na zařízení u obou společností zastaven.



Obrázek 9 Parní kogenerační jednotka POLYCOMP [14]

Hlavní součástí parního stroje je píst spojený s pístní tyčí, který se nachází ve válci a rozvod páry, který slouží pro přívod a odvod páry z prostoru válce. Tlak páry působí silou na píst. Tato síla koná práci, která je odváděna formou krouticího momentu přes klikový mechanismus. Pracovní cyklus parního stroje můžeme rozdělit do čtyř částí:

- 1) Plnění.
- 2) Expanze.
- 3) Výfuk.
- 4) Komprese.

Při plnění proudí rozvodem do válce pára o vysokém tlaku. Poté pára ve válci expanduje (zvýší se její objem a snižuje se tlak páry). Následně vystupuje pára o nízkém tlaku z válce do výfuku. Při kompresi je ve válci pára komprimována.



### 3.5 Spalovací motory

Kogenerační jednotky s plynovými motory se řadí mezi kogenerační jednotky malých výkonů v rozmezí od desítek kW<sub>e</sub> do jednotek MW<sub>e</sub>. Zároveň se jedná o jeden z nejefektivnějších způsobů výroby elektrické energie, protože celková účinnost využití paliva se u kogeneračních jednotek s plynovým motorem pohybuje u hranice 90 %. Palivem pro plynové KJ může být: zemní plyn, bioplyn případně jiné topné plyny. Plyn se primárně spaluje za účelem výroby elektřiny, odpadní teplo se poté odebírá z jednotlivých částí motoru a spalin. Při výběru kogenerační jednotky se spalovacím motorem je velmi důležitý výběr výrobce KJ. Ve většině případů se totiž jedná o upravované dieselové agregáty nákladních vozidel. Příkladem může být německá firma SCHNELL, která používá upravené motory SCANIA nebo firma AGROGEN která používá agregáty firmy MAN. V praxi se prokazatelně prokazují vyšší spolehlivost motory, které jsou navrženy přímo pro spalování bioplynu. Výrobou čistě plynových motorů se zabývá například firma GE Jenbacher. Spalovací motory dělíme:

- 1) dle způsobu zapálení paliva,
- 2) dle druhu použitého paliva,
- 3) dle počtu pohybů použitých pro TO,
- 4) dle počtu válců a způsobu uspořádání válců,
- 5) dle způsobu úpravy spalovacího vzduchu,
- 6) dle rychlosti otáčení hřídele.

Tedom Micro T7

Tabulka 3 Parametry Tedom Micro T7

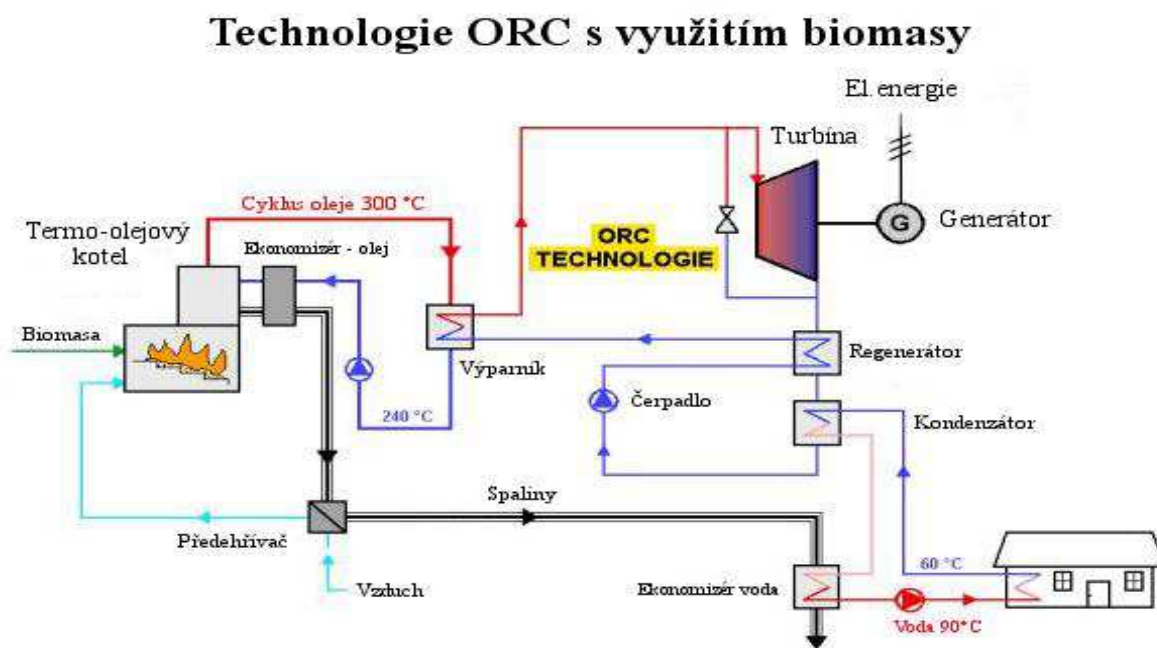
Druh paliva	Rozměry (DxŠxV)	Hmotnost	Výstupní výkon	Emise hluku ve vzdálenosti 1 m
Zemní plyn, LPG	1315x1350x1480	645	6,5 kW <sub>e</sub> 16-18,4 kW <sub>t</sub>	52 dB(A)



Obrázek 10 Kogenerační jednotka TEDOM Micro T7 [15]

### 3.6 Organický Rankinův cyklus

Historie ORC sahá až do konce 19. století. Funguje na obdobném principu jako parní turbíny, neboť mají principiálně obdobný tepelný oběh. Hlavním rozdílem je použitá pracovní látka určená pro pohon turbíny. U parní turbíny předáváme energii o vysokém tlaku. U ORC využíváme vlastností organických látek (chladiivo, silikonového oleje). Kogenerační jednotky s ORC se většinou dodávají ve formě modulů. Výkonové rozmezí těchto modulů se pohybuje v rozmezí 200 až 1500 kWe. Většího výkonu můžeme dosáhnout poměrně jednoduše propojením modulů. ORC jednotky nižšího výkonu je zatím obtížné obstarat, ale např. společnost BOSCH již pracuje se na jejich vývoji. Vhodným využitím ORC je dodávka tepla pro technologické účely, které nevyžadují vysoké teploty (například sušárny na dřevo, vytápěné skleníky). Mezi paliva, která je možno pro tento cyklus využít patří: biopaliva, sluneční energii případně odpadní teplo z produkce BPS. Oddělený oběh pracovní látky zabraňuje její znečištění. Emise, které vytvoří jednotka s ORC, se odvíjí na druhu použitého paliva. Nejčastěji se jako pracovní látka používá silikonový olej. Silikonový olej je hořlavá látka a jsou na ni kladeny speciální požadavky z hlediska požární bezpečnosti. Dříve se jako pracovní látka používaly freony, u kterých bylo finančně velmi nákladné zamezit úniku látky do okolí. Údržba zařízení ORC je poměrně nenáročná, vyšší nároky jsou na zdroj (zařízení na spalování biomasy). Životnost této jednotky je 10 let, pracovní látka je stabilní po dobu 20 let [1]. Hlavní nevýhodou zařízení jsou poměrně vysoké pořizovací náklady, cena modulu se pohybuje okolo 2000€ (53400 Kč) při kurzu 26,70 Kč/€.



Obrázek 11 Schéma ORC zařízení [23]



### 3.7 Porovnání jednotlivých druhů MKJ

Tabulka 4 Porovnání MKJ

Parní stroj		Stirlingův motor	
Výhody	Nevýhody	Výhody	Nevýhody
Jakýkoliv druh paliva.	Vysoký tlak páry ve válci.	Jednoduchá konstrukce.	Konstrukce.
Malá hlučnost.	Vysoká hmotnost.	Menší hlučnost než sp. Motor.	Únik nosného plynu.
Ohleduplnost na životní prostředí.	Vysoké pořizovací náklady.	Využit odp. tepla z OZE.	Vysoká cena.
	Závislost připojení k el. síti.	Nižší emise než sp. motor.	Vysoké požadavky na montáž.
		Nižší náklady na opravu.	Použití speciálních materiálů.
Spalovací motor		Palivový článek	
Výhody	Nevýhody	Výhody	Nevýhody
Nízké náklady investice.	Vysoká hodnota hluku.	Přímá přeměna paliva.	Citlivost na příměsi obsažené v palivu.
Vysoká účinnost.	Vysoké náklady údržby.	Možnost využití upravených různých plyných paliv.	Vysoké investiční náklady.
Široké rozmezí výkonu.	Nutnost nepřetržitého chlazení.	Tichý chod.	Nízká životnost.
Rychlý čas startu.			Pokles účinnosti v závislosti na době provozu.
Umožňují pracovat s nízkým tlakem.			
Spalovací mikroturbíny		ORC	
Výhody	Nevýhody	Výhody	Nevýhody
Vysoká spolehlivost.	Vysoké náklady.	Možnost přeměny zbytkového tepla na elektrickou energii.	Vysoké investiční náklady.
Velký rozsah využitých paliv.		Dlouhá doba životnosti.	Pomalý start.
Nízké emise.			

### 3.8 Vhodnost použití kogeneračního zařízení.

Použití KJ je v současné době do vysoké míry ovlivněno výrobci těchto zařízení, kteří se vždy pro technologii kogenerace zaměřují na určité výkonové rozmezí. Pro efektivní porovnání jednotlivých technologií, by bylo zapotřebí mít alespoň zařízení o stejném elektrickém výkonu.

Tabulka 5 Použití kogeneračních zařízení

Parní stroj	Stirlingův motor
Rodinné domy. Domy s nízkou spotřebou energií.	Rodinné domy. Domy s nízkou spotřebou energií.
Spalovací motor	Palivový článek
Rodinné domy. Chaty, chalupy. Bytové domy. Komerční objekty.	Rodinné domy. Domy s nízkou spotřebou energií.
Spalovací mikroturbíny	ORC
Vícegenerační domy. Rozsáhlejší objekty. Bytové domy.	Rozsáhlejší objekty. Vesnice, části měst. Místa s přebytkem vyrobené tepelné energie (bioplynové stanice).

## 4 Mikrokogenerace malých výkonů s využitím biomasy

Pojmem biomasa označujeme substanci biologického původu. Biomasu můžeme cíleně získávat jako výsledek výrobní činnosti nebo využitím odpadů z lesní, potravinářské a zemědělské výroby. Způsoby využívání biomasy pro energetické účely je předurčen chemickými a fyzikálními vlastnostmi biomasy [16]. Zajímavé projekty společnosti Cleanenergy nabízí možnost využití bioplynu. Toto řešení ovšem není vhodné pro mikrokogeneraci malých výkonů. Technologie výroby bioplynu ve fermentačních reaktorech a uskladňování biomasy pro tvorbu bioplynu je velmi nákladné a nachází většinou uplatnění v bioplynových stanicích o instalovaném elektrickém výkonu v rozmezí od 500 kW do 3 MW. Je možné, že budoucnost bude toto řešení lukrativní i pro bioplyn, ale to pouze v případě že bude v ČR vybudovaná páteřní síť čerpacích stanic na bioplyn. U úvahu tedy přichází spalování biomasy.

## 4.1 Spalování biomasy

Spalování biomasy je chemický pochod, během kterého se slučují s kyslíkem hořlavé prvky obsažené v hořlavině s kyslíkem. Během procesu spalování se uvolňuje teplo. Reakce spalování, při kterých jsou slučovány hořlavé prvky s kyslíkem označujeme jako exotermické. Tyto reakce probíhají dle následujících vztahů.



Rovnice číslo (4.1) popisuje proces spalování uhlíku na oxid uhličitý. Rovnice číslo (4.2) proces přeměny vodíku na vodní páru. Rovnice číslo (4.3) popisuje spalování síry na oxid siřičitý. Výpočet potřebného množství vzduchu je možné provést dvěma způsoby:

- a) Výpočet z chemického složení paliva.
- b) Výpočet z výhřevnosti paliva.

Pro účely mikrokogenerace se jako vhodná technologie nabízí spalování dřevěných pelet, v automatickém kotli. Poté se nabízejí dva možné způsoby odběru tepla:

- 1) odběr tepla ze spalin,
- 2) ohřev vody.

Bohužel prozatím nejsou u nás dostupné tyto mikrokogenerační jednotky, ani rozšiřující moduly na již zmíněné automatické kotle. V ČR se nachází poměrně široká škála výrobců automatických kotlů na biomasu, například: Atmos, Dakon, Viadrus, EkoScroll, Rojek, Verner aj. V následujících letech se dá vývoj takovýchto zařízení předpokládat, ať již jako ucelených MKJ, nebo formou přídatných modulů.

Pro případné zájemce se nabízí společná instalace automatického kotle na biomasu a upravené mikrokogenerační jednotky (např. s jednotkou firmy CleanEnergy). Při takovéto přestavbě bude dosaženo poměrně vysokých investičních nákladů, protože se jedná o zakázkovou úpravu již stávajících zařízení.

V současné době je na trhu dostupná kogenerační jednotka na biomasu Fröling CHP 50, která využívá termochemické reakce. Při této reakci je spalovací proces záměrně přerušen za účelem získání dřevního plynu, který je spálen v plynovém motoru a následně tak vzniká el. energie. Využití této kogenerační jednotky pro námi vybraný objekt není vhodné z důvodu příliš vysokého tepelného i elektrického výkonu. Přebytek vyrobené elektrické energie by bylo možné dodávat do sítě, ovšem problém by bylo zužitkování tepla. Uplatnění této kogenerační jednotky se nachází ve větších blokových kotelnách, případně v bytových domech [17].



Obrázek 12 Fröling CHP 50 [18]

Tabulka 6 Parametry KJ Fröling CHP 50

Technická data	Fröling CHP 50
Elektrický výkon	49 kW
Tepelný výkon	107 kW
Spotřeba dřevní štěpky	40-45 Kg/h

V současné době jsou ale již ve vývoji funkční modely MKJ s využitím biomasy. Mezi hlavní lze zařadit:

OTAG Pellet-lion využívající parní stroj.

Hoval BioLyt se Stirlingovým motorem.

Pro následnou studii proveditelnosti bude výpočet vycházet z parametrů funkční jednotky Sunmachine CHP.

## 4.2 Návrh mikrokogenerační jednotky pro rodinný dům

Mikrokogenerační jednotku volíme v závislosti na požadovaném tepelném výkonu, ceně MKJ, návratnosti investice, dostupnosti paliva a dále také na referencích firmy. Při návrhu kogenerační jednotky budeme primárně vycházet z potřeby tepla pro vytápění. V případě nedostatku je jednodušší dokoupit elektrickou energii od distributora.

### 4.2.1 Roční diagram pro přípravu TUV a potřeby tepla pro vytápění objektu

Pro určení potřeby tepla je nutno mít k dispozici:

diagram četnosti výskytu venkovních teplot pro danou lokalitu,

diagram popisující závislost potřeby tepla na teplotě mimo objekt.

Diagram závislosti potřeby tepla získáme spojením bodu potřeby tepla při venkovní (výpočtové) teplotě a bodu, při kterém je nulová potřeba tepla a venkovní teplota je totožná jako teplota uvnitř objektu. Diagram četností výskytu pro danou lokalitu je určen jako víceletý (třicetiletý nebo padesátiletý) průměr změřených venkovních teplot. Tyto diagramy sestavil Státní hydrometeorologický ústav. Na vodorovné ose tohoto diagramu je znázorněn počet dní a na svislé ose jsou vyneseny průměrné denní teploty [3].

#### 4.2.2 Výběr objektu

Pro následnou ekonomickou rozvalu mikrokogenerace s využitím biomasy bude použit rodinný dům. Jedná se o dvoupodlažní dům, nacházející se v katastru obce Hory. Zastavěná plocha o výměře 91,2 m<sup>2</sup>. Celkový vytápěný objem je 232,101 m<sup>3</sup>. Z pravé strany je k domu stavebně napojena garáž a ze strany levé navazuje další rodinný dům. Garáž je vytápěna samostatně (kamna na tuhá paliva). Spodní patro proběhlo v roce 2013 rekonstrukcí. Součástí rekonstrukce byla výměna původních oken za sedmi-komorová plastová okna. V současné době je objekt vytápěný pěti-čládkovým litinovým kotlem Viadrus Hercules U26 o jmenovitém výkonu při provozu na kusové dřevo 20 kW. V roce 2015 byl dům kompletně osazen LED žárovkami. Čímž se prokazatelně snížila spotřeba elektrické energie. Výpočet tepelných ztrát byl proveden dle on-line kalkulačky na internetové stránce [www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz) [19]. Výpočet tepelných ztrát byl proveden dle normy ČSN 06 0210.

Charakteristické údaje objektu jsou zpracovány v tabulce.

Tabulka 7 Parametry objektu

Město/ Obec	Třebíč/Předín-Hory	
Venkovní návrhová teplota v zimním období	-17	°C
Délka otopného období	263	Dní
Průměrná venkovní teplota v otopném období	2.5	°C
Převazující vnitřní teplota interiéru v otopném období	20	°C

Výsledkem výpočtu je celková tepelná ztráta objektu  $Q_c = 17$  kW

Výpočet potřeby tepla pro vytápění a ohřev teplé užitkové vody byl taktéž proveden pomocí on-line kalkulačky na stránce [www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz) [20]. Dle ČSÚ je průměrná denní spotřeba teplé vody 0,082 m<sup>3</sup> na osobu za den. Pro výpočet budeme předpokládat plné osazení domu osmi lidmi. Pak celková spotřeba teplé vody bude vypočtena dle vztahu:

$$V_{2p} = n \times V_p = 8 \times 0,082 = 0,656 \text{ [m}^3\text{/den]}$$

kde:

$V_{2p}$  - průměrná denní spotřeba teplé vody [m<sup>3</sup>/den],

$n$  - počet osob,

$V_p$  - průměrná denní spotřeba teplé vody na osobu za den [m<sup>3</sup>/den].

Spotřeba tepelné energie vyšla 43 MWh/rok pro vytápění a 16,9 MWh/rok pro ohřev TUV. Výsledná spotřeba tepelné energie je dána jejich součtem.

$$Q_R = Q_{VYT,R} + Q_{TUV,R} = 43 + 16,9 = 59,9 \text{ [MWh/rok]}$$

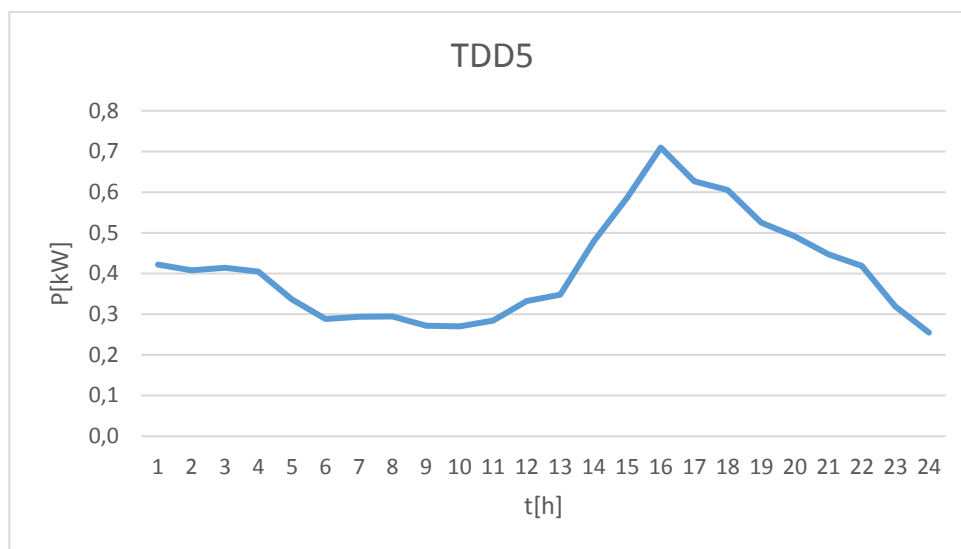
kde:

$Q_R$  - roční spotřeba tepelné energie [MWh/rok],

$Q_{VYT,R}$  - roční spotřeba tepelné energie pro vytápění [MWh/rok],

$Q_{TUV,R}$  - roční spotřeba tepelné energie pro ohřev TUV [MWh/rok].

Pro určení potřeby elektrické energie budeme vycházet z výpisu služeb stávajícího dodavatele elektrické energie. Z výpisu vyplývá, že u objektu je nasmlouvána sazba D25d ve dvou tarifních režimech (vysoký a nízký tarif) a dům je vybaven ochranným jističem o velikosti 3x25 A. Z velikosti jističe získáme hodnotu maximálního elektrického příkonu  $P_{\max} = 17,25$  kW. Dalším možným způsobem jak určit maximální příkon je sečíst příkon všech elektrických spotřebičů v domácnosti. Tarif D25d odpovídá dle vyhlášky č.541/2005 Sb. typovému dennímu diagramu třídy 5 (TDD5). Na portálu [www.ote-cz.cz](http://www.ote-cz.cz) je možné získat průměrné denní spotřeby energií pro dané oblasti ČR. Na základě těchto dat byl vytvořen orientační graf, znázorňující spotřebu elektrické energie v průběhu dne.



Tabulka 8 Stávající náklady objektu

Stávající náklady objektu odečtené z faktury za elektřinu a dřevo pro rok 2016	
Náklady na elektřinu	14 794,16 s DPH
Náklady na vytápění (na dřevo)	15000 s DPH

Ze stávajících nákladů vypočteme dobu provozu stávajícího kotle na tuhá paliva.

$$M_{\text{pal}}^r = \frac{N_{\text{pal}}}{c_{\text{pal}}} = \frac{15000}{1,83} = 8196,72 [\text{kg/rok}] \quad (4.1)$$

kde:

- $M_{\text{pal}}^r$  - roční spotřeba paliva [kg/rok],
- $c_{\text{pal}}$  - měrná cena paliva [Kč/kg; Kč/Nm<sup>3</sup>],
- $N_{\text{pal}}$  - náklady na palivo [Kč].

Měrnou spotřebu paliva vypočteme dle vztahu:

$$b = \frac{3600}{Q_u \cdot \eta_t} = \frac{3600}{15584 \cdot 0,75} = 0,308 [\text{kg} \cdot \text{kWh}] \quad (4.2)$$

kde:

- $b$  - měrná spotřeba paliva [kg·kWh],
- $\eta_t$  - energetická účinnost přeměny [-],
- $Q_u$  - spodní výhřevnost paliva [kJ/kg].

Doba provozu:

$$\tau_r = \frac{M_{\text{pal}}^r}{P_t \cdot b} = \frac{8196,72}{20 \cdot 0,308} = 1330,64 \text{ [h/rok]} \quad (4.3)$$

kde:

$P_t$	- tepelný výkon zařízení [kW <sub>t</sub> ],
$\tau_r$	- roční doba využití zařízení [h/rok],
$b$	- měrná spotřeba paliva [kg·kWh],
$M_{\text{pal}}^r$	- roční spotřeba paliva [kg/rok].

Za předpokladu délky topného období 263 dní, pak průměrná denní doba provozu kotle činí 5,05 hodiny.

## 5 Ekonomika mikrokogenerace

Náklady na instalaci a provoz MKJ jsou založeny na posouzení nasazení KJ, oproti jiným způsobům dodávky energií. Varianty, které zajišťují realizaci dodávky elektrické a tepelné energie jsou podle ekonomického hlediska spojovány s vynakládáním, příjmem a případným ziskem finančních prostředků.

Zisk  $Z$  si označíme jako ekonomický parametr, vypovídající o optimálně zvolené variantě. V případě, že neexistují žádné příjmy, je zisk dán součtem nákladů. Dodávka energií je závislá na typu zvoleného zdroje. Zatížení MKJ probíhá opakovaně, nebo nepřetržitě po dobu životnosti zařízení. Provozování nového zdroje je možné v případě vynaložení počátečních prostředků. Po instalaci MKJ je nutné provést její optimalizaci, tím se umožní snížit náklady na její provoz. Pokud budeme chtít posoudit výhodnost investice, bude nutné počítat s dlouhodobým provozem. Samotný výpočet je nutné provádět na základě peněžních toků (anglicky Cash Flow). Dále je nutné postupovat dle správného kritéria ekonomické efektivity. Při výpočtech je důležité dbát na zahrnutí všech položek (náklady na instalaci, na provoz aj.). Pro porovnání jednotlivých zdrojů tepla a elektrické energie je potřeba postupovat dle následujících ekonomických parametrů:

- 1) Výnosnost investice.
- 2) Úroková míra.
- 3) Doba návratnosti.
- 4) Aktualizace příjmových a výdajových položek.

Primární využití kogenerační jednotky bude na výrobu tepelné energie. Z toho vyplývá, že doba provozu bude omezena délkou topné sezony. V případě, že by u domu byl bazén, bylo by možné v letním období přehřívat vodu a provozovat MKJ prakticky po celý rok. Toto řešení ale není možné zahrnout do výpočtu. Teplo spotřebované na vytápění bazénu nám nijak nesníží náklady na provoz domu, naopak se tím zvýší, díky nákladům na palivo. Ve většině případů je pro investora nejdůležitějším kritériem návratnosti investice. Zásadním kritériem s pohledu distributora jsou tzv. kritériální ukazatele, které vykazují o tom, zda je projekt udržitelný či nikoli.

## 6 Výpočet s využitím kogenerační jednotky Sunmachine CHP

Společnost SUNMACHINE GmbH představila v roce 2008 jednotku s obchodním označením CHP. V současné době je ale bohužel společnost v insolvenčním řízení, zastavila další vývoj a v zahraničí je možné koupit tyto kogenerační jednotky ze skladových zásob. V ČR v současné době není žádný přímý dodavatel. Pořizovací náklady jsou 23.000 € bez DPH [21].

Tabulka 9 Parametry Sunmachine CHP

Druh paliva	Rozměry (DxŠxV)	Hmotnost	Výstupní výkon	Emise hluku ve vzdálenosti 1 m	Cena
Dřevní pelety	760x1590x1160	410 kg	1,5-3kWe 4,5-10,5 kWt	<50 dB(A)	23.000 € 611800 Kč



Obrázek 13 KJ Sunmachine CHP [21]

Při kalkulaci nákladů projektu je nutné počítat s přímými náklady (na materiál, práci) a náklady variabilními, které se proporciálně mění v závislosti na krátkodobých změnách. Tyto náklady představují všechny náklady, které nejsou fixní. Po předchozím průzkumu trhu je nutné konstatovat, že v současné době není v prodeji zařízení MKJ s využitím biomasy. V současné době je již v mnoha domácnostech připojený již výše zmiňovaný kotel na pelety. Pokud by kogenerační jednotka byla schopna dodávat při stejném tepelném výkonu ještě elektřinu, bylo by to pro spoustu lidí přínosem. Jediný problém se zatím jeví cena. Cena kogenerační jednotky musí odpovídat nákladům na stavbu zařízení a být nastavena tak aby byla přínosná pro co největší okruh odběratelů. Vzhledem k poměrně vysoké ceně zařízení by projekt bylo nutné pro realizaci projektu úvěr ve výši 700000 Kč.



## 6.1 Výroba elektrické energie

Elektrická energie vyrobená v MKJ má následující tři druhy uplatnění:

- 1) Veškerá vyrobená elektrická energie se dodá do rozvodné sítě.
- 2) Veškerá elektrická energie se spotřebuje pro vlastní provoz provozovatele.
- 3) Kombinace obou uvedených způsobů.

V případě že budeme el. energii dodávat do sítě je u MKJ výhodné provoz řídit tak, aby dodávka elektrické energie do sítě probíhala vždy v pásmu vysokého a špičkového tarifu. Tímto dosáhneme nejvyšší výkupní ceny ze strany odběratele. Pokud budeme chtít elektrickou energii spotřebovat pro vlastní potřebu, je nutné znát denní průběhy vlastní spotřeby. V případě že námi instalovaný zdroj nebude dostatečný, je nutné znát i ceny jednotlivých tarifů (máme k dispozici tarifní skupiny A, B) a průběh ¼ hodinových maxim. Pro přehlednost se v praxi data vynášejí do diagramů potřeb elektrické energie.

### 6.1.1 Náklady na výrobu elektrické a tepelné energie

Celá ekonomická úvaha je závislá na plánovaných nákladech a výnosech objektu. V každém objektu dělíme náklady na:

Náklady stále  $N_s$  (tyto náklady nejsou závislé na době provozu)

Náklady proměnné  $N_p$  (náklady se mění dle provozní doby)

Roční výrobní náklady pak vypočteme dle vztahu

$$N_v = N_s + N_p \text{ [Kč/rok]} \quad (5.1)$$

Náklady stále se skládají z nákladů na mzdy zaměstnanců  $N_m$ , nákladů na údržbu zařízení a opravy  $N_{ou}$  a nákladů na režii a ostatní.

Náklady na odměny zaměstnanců:

$$N_m = k_m \cdot N_i = (0,005-0,015) \cdot N_i = 0,005 \cdot 61180 = 3059 \text{ [Kč/rok]} \quad (5.2)$$

Náklady na údržbu a opravy:

$$N_{ou} = k_{ou} \cdot N_i = (0,005-0,02) \cdot N_i = 0,005 \cdot 61180 = 3059 \text{ [Kč/rok]} \quad (5.3)$$

Režijní náklady a jiné

$$N_r = k_r \cdot N_i = (0,005-0,015) \cdot N_i = 0,005 \cdot 61180 = 3059 \text{ [Kč/rok]} \quad (5.4)$$

Výpočet stálých nákladů provedeme dle vztahu:

$$N_s = N_m + N_{ou} + N_r = 3059 + 3059 + 3059 = 9177 \text{ [Kč/rok]} \quad (5.5)$$

Náklady na amortizaci vypočteme dle vzorce:

$$N_a = N_i \cdot \frac{(1+u)^{T_z}}{(1+u)^{T_z}-1} \cdot u = 61180 \cdot \frac{(1+0,05)^{15}}{(1+0,05)^{15}-1} \cdot 0,05 = 58942,22 \text{ [Kč]} \quad (5.6)$$

Poměrnou anuitu  $a_t$  vypočteme dle vztahu:

$$a_t = \frac{(1+u)^{T_z}}{(1+u)^{T_z}-1} \cdot u = \frac{(1+0,05)^{15}}{(1+0,05)^{15}-1} \cdot 0,05 = 0,096[-] \quad (5.7)$$

kde:

- $N_i$  - jednorázová investiční částka [Kč],  
 $u$  - diskontní sazba [-],  
 $T_z$  - doba životnosti zařízení [rok].

Ostatní složky stálých výrobních nákladů pro účely projektové studie určujeme procentním dílem nákladů investice.

Položku palivových nákladů vypočteme obecně dle vztahu:

$$N_{\text{pal}} = M_{\text{pal}}^r \cdot c_{\text{pal}} [\text{Kč/rok}] \quad (5.8)$$

kde:

- $M_{\text{pal}}^r$  - roční spotřeba paliva [kg/rok],  
 $c_{\text{pal}}$  - měrná cena paliva [Kč/kg; Kč/Nm<sup>3</sup>].

Pro vzájemné porovnání ekonomiky výroben s různou technologií případně různým výkonem používáme výpočet nákladů vztažený na jednotku energetické produkce.

$$n_v = \frac{N_v}{P_{\text{el}} \cdot \tau_m} [\text{Kč/kWh}] \quad (5.9)$$

Pro výpočet celkové doby provozu budeme vycházet z předpokladu, že KJ bude v provozu 8 hodin denně po dobu topného období v dané oblasti. Pokud by zařízení bylo v provozu déle, není v tomto rodinném domě možné spotřebovat vyrobenou tepelnou energii.

$$\tau_m = \tau_h \cdot \tau_D = 263 \cdot 8 = 2104 [\text{hod}] \quad (5.10)$$

kde:

- $\tau_D$  - délka topného období [-],  
 $\tau_h$  - denní doba provozu [hod],  
 $\tau_M$  - roční doba provozu [hod].

Spotřeba zařízení při plném výkonu předepsaná výrobcem je 3 kg pelet za hodinu. Na základě tohoto vypočteme celkové množství paliva dle vztahu:

$$M_{\text{pal}}^r = \tau_m \cdot m_s = 2104 \cdot 3 = 6312 [\text{kg}] = 6,312 [\text{t}] \quad (5.11)$$

kde:

- $m_s$  - spotřeba paliva [kg/hod],  
 $\tau_m$  - doba provozu [hod/rok].

Cena pelet je přibližně 6,20 Kč včetně DPH a dopravy. Náklady na vytápění tedy vypočítáme ze vzorce:

$$N_{\text{pal}} = M_{\text{pal}}^r \cdot c_{\text{pal}} = 6312 \cdot 6,20 = 39134,4 [\text{Kč}] \quad (5.12)$$

Roční výroba tepla

$$E_t = P_t \cdot \tau_m \cdot 0,0036 = 10,5 \cdot 2104 \cdot 0,0036 = 79,5312 \text{ [GJ/rok]} \quad (5.13)$$

kde:

- $P_t$  - tepelný výkon zařízení [kW],  
 $E_t$  - množství vyrobené tepelné energie za rok [GJ/rok].

Roční výroba elektrické energie

$$E_{el} = P_{el} \cdot \tau_m = 3 \cdot 2104 = 6312 \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{rok}} \right] \quad (5.14)$$

kde:

- $P_{el}$  - elektrický výkon zařízení [kW],  
 $E_{el}$  - množství vyrobené elektrické energie za rok [kWh/rok].

Roční úspora na vytápění :

$$N_t = E_t \cdot C_t = 79,53 \cdot 268,7 = 21370,03 \text{ [Kč]} \quad (5.15)$$

kde:

- $N_t$  - roční úspora na vytápění [Kč],  
 $C_t$  - cena za teplo vyrobené ve stávajícím zařízení [Kč].

Roční úspora za elektřinu

$$N_E = E_{el} \cdot C_E = 6312 \cdot 3,72 = 23480,64 \text{ [Kč]} \quad (5.16)$$

kde:

- $N_E$  - roční úspora za elektřinu [Kč],  
 $C_E$  - cena elektřiny vyrobené ve VT odečtená z faktury za rok 2016 [Kč].

Zelený bonus

$$N_Z = E_{el} \cdot C_p = 5784 \cdot 1,970 = 11394,48 \text{ [Kč]} \quad (5.17)$$

kde:

- $N_Z$  - celkový příspěvek na KVET [Kč],  
 $C_t$  - příspěvek na KVET, dle rozhodnutí ERU [Kč/kWh].

Roční výnos  $V$  vypočteme jako součet tržeb, v našem případě součet úspor:

$$V = N_t + N_E + N_Z = 21370,03 + 23480,64 + 11394,48 = 56245,15 \text{ [Kč/rok]} \quad (5.18)$$

Proměnnou složku výrobních nákladů  $N_p$  vypočteme dle vztahu:

$$N_p = N_{pal} + N_{vo} + N_e \text{ [Kč/rok]} \quad (5.19)$$

Pro zjednodušení výpočtu zanedbáme finanční položky na vodu ( $N_{vo}$ ) a elektrickou energii ( $N_e$ ). Poté se proměnná složka ročních nákladů vypočte jako:

$$N_p = N_{pal} = 39134,4 \text{ [Kč/rok]} \quad (5.20)$$

Celkové náklady na provoz vypočteme dle vztahu:

$$N_{pr} = N_s + N_p = 39134,4 + 9177 = 48311,4 \text{ [Kč/rok]} \quad (5.21)$$

Tok hotovosti (cash - flow)

$$CF = V - N_{pr} - N_a = 56245,15 - 48311,4 - 58942,22 = -51007,47 \text{ [Kč]} \quad (5.22)$$

kde:

- $CF$  - Cash flow [Kč],  
 $V$  - roční výnosy [Kč],  
 $N_{pr}$  - roční provozní náklady [Kč],  
 $N_a$  - roční náklady na amortizaci [Kč].

Úrok z úvěru určíme ze vztahu:

$$N_{\dot{u}} = \left(a_T - \frac{1}{T_s}\right) \cdot N_{iu} = \left(0,096 - \frac{1}{15}\right) \cdot 700000 = 20533,33 \text{ [Kč]} \quad (5.23)$$

Odpisy prosté:

$$N_o = \frac{N_i}{T_z} = \frac{700000}{15} = 4666,67 \text{ [Kč]} \quad (5.24)$$

Hrubý zisk vypočteme dle vztahu:

$$Z = V - N_{pr} - N_o - N_{\dot{u}} = 56245,15 - 48311,4 - 20533,33 - 4666,67 = -17266,25 \text{ [Kč]} \quad (5.25)$$

kde:

- $H$  - hrubý zisk [Kč],
- $V$  - roční výnosy [Kč],
- $N_{pr}$  - roční provozní náklady [Kč],
- $N_o$  - odpisy prosté [Kč],
- $N_{\dot{u}}$  - úrok z úvěru [Kč].

Z výsledného záporného toku hotovosti vyplývá, že užití této MKJ pro zvolení dům není vhodné. Ekonomiku celé investice by bylo možné ovlivnit délkou provozu MKJ v tomto případě by ale nebylo možné v tomto objektu zužítkovat vyrobenou tepelnou energii. Dalšími důležitými parametry jsou cena zařízení, případně použití levnějšího paliva. Cena MKJ je ovlivněna výrobcem na základě jeho nákladů na konstrukci zařízení a testování v provozu.

## 6.1.2 Vyhodnocení profitability projektu

Tabulka 10 Shrnutí projektu

Tabulka Výsledné parametry projektu		
<b>Cena kogenerační jednotky:</b>	611800	Kč
<b>Stálé roční náklady :</b>	9177	Kč/rok
<b>Roční náklady na palivo:</b>	39134,4	Kč/rok
<b>Množství vyrobené tepelné energie:</b>	79,53	GJ/rok
<b>Množství vyrobené elektrické energie:</b>	6312	kWh/rok
<b>Zelený bonus:</b>	11394,48	Kč/rok
<b>Cash Flow:</b>	-51007,47	Kč/rok
<b>Hrubý zisk:</b>	-17266,25	Kč/rok

Doba návratnosti (DN) udává počet let, potřebných k vyrovnání hotovostních toků s počáteční investicí. Jedná se tedy o podíl čistého výnosu k nákladům investice. Vzhledem k tomu, že tato investice vykazuje vysoké záporné hodnoty Cash Flow a hrubého zisku, není možné dobu návratnosti vypočítat. Po dobu provozu by bylo nutné provoz do vysoké míry dotovat. Z toho vyplývá, že tato investice není efektivní.

## 7 Závěr

Tématem této bakalářské práce je mikrokogenerace malých výkonů. Pojmem kogenerace označujeme sdruženou výrobu elektrické a tepelné energie. Hlavní výhodou kogenerace spočívá v úspoře primárních zdrojů a snížení emisí vznikajících při oddělené výrobě.

V rešeršní části této práce byly popsány druhy dostupných kogeneračních technologií. Pro využití v kogeneraci se zatím vyskytují čtyři primární typy mikrokogeneračních jednotek. Jedná se o kogenerační jednotky se Stirlingovým motorem, spalovacím motorem, parním strojem a palivovým článkem. V této bakalářské práci jsou uvedeny ještě další dva typy kogeneračních technologií a to zařízení ORC a spalovací turbíny. Tato zařízení v současné době nenachází uplatnění v oblasti mikrokogenerace malých výkonů, ale vzhledem k tomu, že MKJ vyvíjejí velmi rychle je možné, že v budoucnu budou tato zařízení dostupná.

Technicko-ekonomická úvaha se zabývá studií proveditelnosti MKJ s využitím spalování biomasy v rodinném domě. Na počátku technickoekonomické úvahy je uveden výpočet potřeby elektrické a tepelné energie modelového domu. Z faktury a elektřinu byla vypočtena přibližná spotřeba elektrické energie a z faktury za dřevo je vypočtená doba provozu stávajícího zařízení, které slouží k vytápění objektu. Současné náklady na vytápění nezahrnují práci s manipulací paliva, kterou majitel provádí svépomocí v době osobního volna. Dle doby provozu tohoto zařízení byla zvolena i orientační doba provozu mikrokogenerační jednotky s využitím biomasy. Výsledkem výpočtu je záporná hodnota peněžního toku (cash flow) a taktéž záporná hodnota ročního zisku. Z tohoto důvodu je možné označit tuto investici jako nevýhodnou. V následujících letech má majitel v plánu propojení s vedlejším objektem a garáží, čímž se zvýší poptávka po elektrické i tepelné energii a bude možné tak celkový výpočet provést znovu na základě nových parametrů.

Vzhledem k tomu, že na trhu není k zakoupení zařízení pro pokrytí potřeby rodinného domu pracující na principu spalování biomasy, není možné provést jejich porovnání. V současnosti již několik společností pracuje na vývoji a zkouškách MKJ s využitím biomasy a lze tak předpokládat možnost srovnání. Tato práce bude sloužit jako podklady pro diplomovou práci, která se bude zabývat návrhem kogenerační jednotky se Stirlingovým motorem. Předpokládaným palivem pro tuto jednotku je lesní štěpka.

## 8 Seznam použitých zdrojů

- [1] DVORSKÝ, Emil, HEJTMÁNKOVÁ, Pavla. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 281 s. : il. ISBN 8073001187.
- [2] STUPAVSKÝ, Vladimír. Mikrokogenerace a trigenerace. *Biom.cz* [online]. 2010 [cit. 2017-05-09]. ISSN 1801-2655. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/mikrokogenerace-a-trigenerace>
- [3] KRBEK, Jaroslav, POLESNÝ Bohumil. *Kogenerační jednotky malého výkonu v komunálních a průmyslových tepelných zdrojích*. 1. vyd. Brno: PC-DIR, 1997. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-0889-8.
- [4] ŠKORPÍK, Jiří. *Principy výroby elektřiny a tepla v domácnostech*, Transformační technologie, 2010-06, [last updated 2017-03-01]. Brno: Jiří Škorpík, [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <http://www.transformacni-technologie.cz/10.html>.
- [5] *Tesla*. *tesla.com* [online]. 2017 [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: [http://www.tesla.com/en\\_EU/powerwall?redirect=no](http://www.tesla.com/en_EU/powerwall?redirect=no)
- [6] ŠKORPÍK, Jiří. *Stirlingův motor*, Transformační technologie, 2009-06, [last updated 2013-03]. Brno: Jiří Škorpík, [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <http://www.transformacni-technologie.cz/33.html>.
- [7] *Powerfromthesun*. *powerfromthesun.net*. [online]. 2011 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.powerfromthesun.net/Book/chapter12/chapter12.html>
- [8] KOPAČKOVÁ, Dagmar. *Viessmann uvedl na trh malou kogeneraci pro bytové a větší rodinné domy* [online]. In: . b.r. [cit. 2017-05-09].
- [9] *Mikrokogenerační jednotky se stirlingovým motorem* [online]. b.r. [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://www.stirlingenergy.cz/>
- [10] Stirlingenergy. *stirlingenergy.cz* [online]. 2012 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: [www.stirlingenergy.cz/galerie/2012/12.html](http://www.stirlingenergy.cz/galerie/2012/12.html)
- [11] HVAC. *hvac-talk.com* [online]. In: . 2016 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: [www.hvac-talk.com/vbb/showthread.php?1923681-IOM-manual-for-Ingersoll-Rand-microturbine](http://www.hvac-talk.com/vbb/showthread.php?1923681-IOM-manual-for-Ingersoll-Rand-microturbine)
- [12] ŠTUKAVEC, Karel. *Mikrokogenerace*. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2011.
- [13] ŠKORPÍK, Jiří. Pístový parní motor (Parní stroj). *Transformační technologie* [online]. Brno, 2010-06, (2012-04) [cit. 2017-05-09]. ISSN 1804-8293. Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz/28.html#menu>
- [14] Polycomp, a.s. *polycomp.cz* [online]. 2012 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.polycomp.cz>

- 
- [15] TEDOM, a.s. kogenerace.tedom.com[online]. 2016 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://kogenerace.tedom.com/tedom-kogeneracni-jednotky-dalsi-paliva.html>
- [16] PASTOREK, Zdeněk, KÁRA, Petr, Jaroslav, JEVIČ. *Biomasa: obnovitelný zdroj energie*. 1. Praha: FCC Public, 2004. ISBN 80-865-3406-5.
- [17] FROLING. *froling.cz* [online]. 2015 [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <http://www.froling.cz/products/kogeneracni-jednotka-chp50/>
- [18] FROLING. *froling.cz* [online]. 2015 [cit. 2017-04-06]. Dostupné z: <http://www.froling.cz/products/kogeneracni-jednotka-chp50/photo>
- [19] Top info s.r.o.: Výpočet tepelných ztrát. *stavba.tzb-info.cz* [online]. 2016 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/128-on-line-kalkulacka-uspor-a-dotaci-zelena-usporam>
- [20] Top info s.r.o.: Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teple vody. *vytapieni.tzb-info.cz* [online]. 2016 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: [www.vytapieni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapieni-a-ohrev-teple-vody](http://www.vytapieni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapieni-a-ohrev-teple-vody)
- [21] Sunmachine pellet. *bhkw-prinz.de* [online]. 2012 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: [www.bhkw-prinz.de/sunmachine-pellet-bhkw-mit-stirlingmotor/141](http://www.bhkw-prinz.de/sunmachine-pellet-bhkw-mit-stirlingmotor/141)
- [22] Palivové články. *oenergetice.cz* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/elektroenergetika/palivove-clanky-princip-funkce-a-deleni/>

**9 Seznam použitých symbolů a zkratek**

Symbol	Veličina	Rozměr
$b$	Měrná spotřeba paliva	kg/kWh
$c_{pal}$	Měrná cena paliva	Kč/kg
$cena_p$	Cena pelet	Kč
CF	Cash Flow	Kč
$CF_t$	Hotovostní tok investice za období $t$	Kč
$CF_t$	Hotovostní tok investice za období $t$	Kč
$m_{pal}$	Roční spotřeba paliva	kg
$m_{pal}$	Roční spotřeba paliva	kg
$M_{pal}^r$	Roční spotřeba paliva	kg/rok
$m_s$	Spotřeba paliva	kg/h
$N_i$	Jednorázová investiční částka	Kč
$N_{it}$	Investiční náklady vynaložené v uvažovaném roce	Kč
$N_m$	Náklady na odměny zaměstnanců	Kč/rok
$N_o$	Odpisy prosté	Kč
$N_{ou}$	Náklady na údržbu a opravy	Kč/rok
$N_p$	Proměnné výrobní náklady	Kč/rok
$N_{pal}$	Celkové náklady na vytápění	Kč
$N_{pr}$	Roční provozní náklady	Kč
$N_r$	Režijní náklady	Kč/rok
$N_{\dot{u}}$	Úrok z úvěru	Kč
$P_t$	Tepelný výkon zařízení	kW <sub>t</sub>
$PV_t$	Současná hodnota hotovostních toků	Kč
$Q_{max}$	Maximální tepelný výkon KJ	kW
$Q_{max}$	Maximální tepelný výkon KJ	kW
$Q_r$	Roční spotřeba energie na vytápění a ohřev TUV	kW
$Q_r$	Roční spotřeba energie na vytápění a ohřev TUV	kW
$Q_u$	Spodní výhřevnost paliva	kJ/kg; kJ/kg <sub>n</sub> <sup>3</sup>
$Q_u$	Spodní výhřevnost paliva	kJ/kg; kJ/kg <sub>n</sub> <sup>3</sup>
$T_m$	Doba provozu KJ na maximální výkon	h
$T_m$	Doba provozu KJ na maximální výkon	h
$T_z$	Doba životnosti zařízení	rok
$\eta_{it}$	Měrné investiční náklady vztažené k teple	Kč/kW <sub>t</sub>
$\eta_t$	Energetická účinnost přeměny	-
$\eta_t$	Účinnost přeměny	-
$\tau_r$	Roční doba využití zařízení	h/rok
$\tau_r$	Roční doba využití zařízení	h/rok
H	Hrubý zisk	Kč
IRR	Vnitřní výnosové procento	Kč
n	Poslední hodnocené období	Kč
NPV	Čistá současná hodnota investice	Kč
p	Součinitel stále složky ročních nákladů	-
r	Diskontní sazba	Kč
r	Diskontní sazba	Kč
t	Konkrétní období	Kč



Symbol	Veličina	Rozměr
t	Období	Kč
t	Období	Kč
u	Diskontní sazba	-
V	Roční výnosy	Kč
V	Roční výnosy	Kč

Zkratka	Význam
KJ	Kogenerační jednotka
MKJ	Mikrokogenerační jednotka
KVET	Kombinovaná výroba elektřiny a tepla
TV	Tepá voda
TUV	Teplá užitková voda
GE	General Electric
ORC	Organický Rankinův cyklus
PV	Present value
NPV	Net present value
DN	Doba návratnosti
CF	Cash Flow

## 10 Seznam obrázků a tabulek

Obrázek 1 Schéma kogenerace .....	12
Obrázek 2 Tesla Powerwal [5].....	15
Obrázek 3 Modifikace Stirlingova motoru [7].....	16
Obrázek 4 Viessmann Vitotwin [8] .....	19
Obrázek 5 Cleanenergy C9G [10].....	19
Obrázek 6 Spalovací turbína [19] .....	19
Obrázek 7 Spalovací mikroturbína [11].....	20
Obrázek 8 Schéma palivového článku [22] .....	22
Obrázek 9 Parní kogenerační jednotka POLYCOMP [14].....	23
Obrázek 10 Kogenerační jednotka TEDOM Micro T7 [15].....	24
Obrázek 11 Schéma ORC zařízení [23].....	25
Obrázek 12 Fröhling CHP 50 [18].....	29
Obrázek 13 KJ Sunmachine CHP [21] .....	33
Tabulka 1 Parametry Viessmann Vitotwin .....	18
Tabulka 2 Parametry Cleanenergy C9G .....	19
Tabulka 3 Parametry Tedom Micro T7.....	24
Tabulka 4 Porovnání MKJ .....	26
Tabulka 5 Použití kogeneračních zařízení .....	27
Tabulka 6 Parametry KJ Fröhling CHP 50 .....	29
Tabulka 7 Parametry objektu .....	30
Tabulka 8 Stávající náklady objektu .....	31
Tabulka 9 Parametry Sunmachine CHP.....	33
Tabulka 10 Shrnutí projektu .....	37

## 11 Seznam příloh

Příloha A Výpočet potřeby tepla objektu

## Příloha A

<b>Lokalita</b> <a href="#">(Tabulka)</a> Město: <input type="text" value="Třebíč (Bítovány)"/> Venkovní výpočtová teplota $t_e = -17$ °C Délka topného období: $d = 263$ [dny] Prům. teplota během otopného období: $t_{es} = 2.5$ °C	
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Vytápění</b> Tepelná ztráta objektu $Q_c = 17$ kW Průměrná vnitřní výpočtová teplota $t_{is} = 20$ °C Vytápění denostupně $D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) = 4603$ K.dny Opravné součinitele a účinnosti systému $\epsilon_i = 0.85$ $\eta_o = 0.95$ $\epsilon_t = 0.90$ $\eta_r = 0.95$ $\epsilon_d = 1.00$ Opravný součinitel $\epsilon$ <input checked="" type="radio"/> $\epsilon = \epsilon_i \cdot \epsilon_t \cdot \epsilon_d = 0.765$ <input type="radio"/> $\epsilon = 0.765$ $Q_{VYT,r} = \frac{\epsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_c \cdot D}{(t_{is} - t_e)} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}$ $Q_{VYT,r} = \left( \begin{array}{l} 154.9 \text{ GJ/rok} \\ 43 \text{ MWh/rok} \end{array} \right)$	<input checked="" type="checkbox"/> <b>Ohřev teplé vody</b> $t_1 = 10$ °C $\rho = 1000$ kg/m <sup>3</sup> $t_2 = 55$ °C $c = 4186$ J/kgK $V_{2p} = 0.656$ m <sup>3</sup> /den Koeficient energetických ztrát systému $z = 0.5$ Denní potřeba tepla pro ohřev teplé vody $Q_{TUV,d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} = 51.5 \text{ kWh}$ Teplota studené vody v létě $t_{svl} = 15$ °C Teplota studené vody v zimě $t_{svz} = 5$ °C Počet pracovních dní soustavy v roce $N = 365$ [dny] $Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d)$ $Q_{TUV,r} = \left( \begin{array}{l} 60.8 \text{ GJ/rok} \\ 16.9 \text{ MWh/rok} \end{array} \right)$
Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody $Q_r = Q_{VYT,r} + Q_{TUV,r} = \left( \begin{array}{l} 215.7 \text{ GJ/rok} \\ 59.9 \text{ MWh/rok} \end{array} \right)$	